

Ville Nikula

Kaksoisahdetun bensiinimoottorin johtosarjan suunnittelu ja toteutus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

13.4.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Ville Nikula Kaksoisahdetun bensiinimoottorin johtosarjan suunnittelu ja toteutus 38 sivua + 1 liite 13.4.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Ammatillinen pääaine	Autosähkötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Pasi Kovanen
<p>Tämän insinöörityön aiheena oli suunnitella ja toteuttaa johtosarja moottorinohjainlaitteen ja kaksoisahdetun bensiinimoottorin välille sekä kalibroida moottorinohjaus tehodynamometrissä. Moottori ja moottorinohjausjärjestelmä oli asennettu alkuperäisesti kaasuttimella ja kärjellisellä sytytysjärjestelmällä varustettuun henkilöautoon. Työssä perehdyttiin nykyaikaisen ajoneuvon johtosarjalle asetettuihin vaatimuksiin.</p> <p>Työn tavoitteena oli moottorin suorituskyvyn parantaminen asentamalla siihen pakokaasu- ja mekaaninen ahdin, ja näiden ohjaaminen moottorinohjainlaitteen avulla. Kun johtosarja oli saatu toteutettua, kalibroitiin moottorinohjainlaite tehodynamometrissä sekä ahtimia ohjaavien komponenttien kytkentälogiikkaa säädettiin parhaan suorituskyvyn saamiseksi.</p> <p>Insinöörityön tavoitteet saavutettiin pääosin. Johtosarja saatiin suunniteltua ja toteutettua, mutta kytkentäkaavioita ei ehditty valmistamaan. Moottorinohjaus saatiin kalibroitua ja moottorin suorituskykyyn saatiin merkittävä parannus. Mekaanisella ahtimella todettiin olevan suuri vaikutus suorituskykyyn moottorin pienillä käyntinopeuksilla. Saatuja tuloksia voitiin hyödyntää hyvin tulevaisuuden muutoksissa.</p>	
Avainsanat	Johtosarja, moottorinohjaus, kaksoisahtaminen, Haltech

Author Title	Ville Nikula Design and Implementation of a Wiring Harness to a Twin Charged Gasoline Engine
Number of Pages Date	38 pages + 1 appendix 13 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Professional Major	Automotive Electronics Engineering
Instructors	Pasi Kovanen, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to design and implement a wiring harness between the engine control unit and the twin charged gasoline engine, and to calibrate the ECU in the car dynamometer. The engine and engine control system were installed in a car originally installed with a carburetor and a contact breaker type ignition. The requirements of a modern car wiring harness were also studied during this thesis work.</p> <p>This thesis aims at improving the engine's performance by installing a turbo and a supercharger and controlling them using the ECU. When the wiring harness had been completed, the ECU was calibrated in the car dynamometer and the switching logic for the charger controlling components was set to obtain the best performance.</p> <p>The objectives of this Bachelor's thesis were mostly achieved. The wiring harness was designed and manufactured, but no wiring diagrams were made due to the tight schedule. The ECU was calibrated, and the engine performance was significantly improved. The supercharger was found to have a high impact on performance at low engine speeds. The results obtained could be utilized well in the changes that followed this project.</p>	
Keywords	Wiring harness, ECU, twin charging, Haltech

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Johtosarja	1
2.1	Johtosarjan suunnittelun lähtökohdat	2
2.2	Johtosarjamateriaalit	3
2.2.1	Eristeet	3
2.2.2	Johtimet	3
2.2.3	Liittimet	4
2.2.4	Suojaus	5
2.3	Materiaalien valinta	6
2.4	Johtosarjan rakennus	7
3	Moottorinohjaus	15
4	Komponentit	19
4.1	Lämpötila-anturit	20
4.2	Asentoanturit	21
4.3	Paineanturit	22
4.4	Lambda-anturi	23
4.5	Sytytyspuolat	24
4.6	Polttoainesuuttimet	24
4.7	Lisäilmaventtiili	25
4.8	Mekaanisen ahtimen magneettikytkin	26
4.9	Monitoiminäyttö	27
4.10	Ajonopeusanturi	28
5	Anturointi	28
5.1	Kampi- ja nokka-akselin asentoanturit	29
5.2	Lämpötila-anturit	30
5.3	Kaasuläpän asentoanturi	30
5.4	Imusarjan paineanturi	31
6	Säätöohjelmisto	31

	Abstract
7 Säättäminen	32
8 Yhteenveto	36
Lähteet	38
Liitteet	
Liite 1. Haltechin kytkentäkaavio	

Lyhenteet

DLI	Distributor-less Ignition. Sytytysjärjestelmä, jossa ei ole käytössä perinteistä virranjakajaa.
PVC	Polyvinyylikloridi. Muovityyppi.
PE	Polyetyleni. Muovityyppi.
NTC	Negative Temperature Coefficient. Resistortyyppi, jonka resistanssi laskee lämpötilan noustessa.
AFR	Air-Fuel Ratio. Polttoaine-ilmaseos.
TPS	Throttle Position Sensor. Kaasuläpän asentoanturi.
CAN	Controller Area Network. Tiedonsiirtoväylä.

1 Johdanto

Työn aiheena on johtosarjan suunnittelu ja toteutus henkilöautoon, johon on vaihdettu kaksoisahdettu bensiinimoottori sekä Haltech-moottorinohjain. Moottorinohjaimella ohjataan paitsi moottorin polttoaineensuihkutusta ja sytytystä, myös moottorissa olevia pakokaasu- ja mekaanisia ahtimia. Työssä perehdytään moottorinohjaimen kalibrointiin erilaisilla ahtimien ohjauksilla sekä niiden vaikutukseen moottorin suorituskykyyn. Autoon asennettiin myös Racepak Iq3 -mittaristo, joka yhdistetään CAN-väylällä moottorinohjaimen.

Tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa johtosarja moottorinohjaimen ja moottorin välille sekä kalibroida moottorinohjain kyseiselle moottorille sopivaksi. Johtosarjan suunnittelussa tutustuttiin nykyaikaisen ajoneuvon johtosarjan vaatimuksiin, materiaaleihin ja mitoituksiin. Johtosarja on ajoneuvon osa, jonka tehtävä on jakaa sähkövirtaa ja signaaleja ajoneuvon eri järjestelmille. Tavoitteena on ahtimien oikeanlaisella ohjauksella tehdä ahtimien päälle- ja poiskytkennästä mahdollisimman huomaamaton.

2 Johtosarja

Johtosarjan tehtävä on jakaa sähkövirtaa ja signaaleja ajoneuvon eri komponenteille. Nykyaikaisen keskiluokan henkilöauton johtosarja sisältää noin 750 erillistä johdinta, kokonaispituudeltaan noin 1500 metriä. Premium-luokan ajoneuvoissa johtimien määrä ja pituus voi olla jopa kaksinkertainen. [1, s. 1180–1181]

Johtosarjaa suunniteltaessa on otettava huomioon sitä koskevat sähköopin lait ja säännöt, joita ovat mm.

- Ampéren laki
- Ohmin laki
- jännitteen- ja virranjakosäännöt.

Johtimien mitoituksessa on kiinnitettävä huomiota johtimien oikeaan poikkipinta-alaan, jotta vältytään liiallisilta jännitehäviöiltä kuitenkin pitäen johtosarjan massa ja kustannukset mahdollisimman alhaisina. Autoteollisuudessa on sovittu, että poikkipinta-alaltaan alle 0,5 mm² ei käytetä. [1, s. 1180]

Työssä käytettiin apuna moottorinohjaimen yleismallista johtosarjaa, joka sisältää liitteen 1 mukaiset johtimet. Kaikkien johtimien oikea mitoitus laskettiin kaavalla 1:

$$A = \frac{I \cdot \rho \cdot l}{U \cdot V} \quad (1)$$

A on johtimen poikkipinta-ala [mm²], I on virta [A], ρ on johdinmateriaalin ominaisvastus [Ω mm²/m], l on johtimen pituus [m] ja $U \cdot V$ on sallittu jännitehäviö [V].

2.1 Johtosarjan suunnittelun lähtökohdat

Johtosarjan suunnittelussa lähtökohtana oli luotettavuus. Kohteen ollessa ratakäytössä oleva kilpa-auto on luotettavuus tärkein prioriteetti. Kyseessä ei kuitenkaan ole niin ammattilaistason auto, että olisi ollut järkevää rakentaa johtosarja käyttäen motorsport-luokan materiaaleja, jolloin budjettisistä johtuen rakentaminen olisi venynyt huomattavasti. Motorsport-luokan materiaaleilla ei myöskään olisi saavutettu merkittävää hyötyä, sillä esimerkiksi johtimissa erot ns. tavallisen johtimen ja kilpa-autoissa yleisesti käytetyn Raychem Spec 55 -johtimen välille muodostuvat lähinnä paremmista eriste- ja johdinmateriaaleista, joilla saavutetaan paremmat ominaisuudet. Kuitenkin ns. perusmallin johtimienkin ominaisuudet riittävät kyseiseen ajoneuvoon hyvin. Myös ajoneuvon huollon nopeuttamiseksi johtosarjasta pyrittiin tekemään mahdollisimman helposti irrotettava, integroimatta sitä ajoneuvon muihin sähköjärjestelmiin. Kyseessä on kuitenkin korkeavirtainen turbomoottori, jossa pienetkin häiriöt moottorinohjauksen signaaleissa saattavat aiheuttaa jopa moottorivaurion. Tämän takia varsinkin johtosarjan liitoksiin haluttiin panna nostaa. Johtosarjassa käytettävien materiaalien tulee täyttää seuraavat kriteerit:

- käyttölämpötila-alue 0–150 °C, hetkellisesti 250 °C
- moottoritilassa olevien komponenttien oltava IP68-luokiteltuja
- kestävä altistuminen moottoritilan kemikaaleille (benssiini, moottoriöljy, jäähdytysneste ja jarruneste)
- riittävä värinänsietokyky.

2.2 Johtosarjamateriaalit

Nykyaikaisissa autoissa johtosarjan on kestävä monia erilaisia lämpötila-, värinä- ja fyysisiä rasituksia sekä kemikaaleja. Samalla sen on oltava kuitenkin mahdollisimman edullinen, helppo valmistaa ja koota. Täten materiaalivalinnat ovat tärkeässä roolissa johtosarjaa suunniteltaessa, jotta vältytään ennenaikaisilta vaurioilta kuitenkin kustannusten pysyessä mahdollisimman alhaisina.

2.2.1 Eristeet

Johtimen eristysmateriaalina käytetään asennuspaikan lämpötilasta ja kemikaaleista riippuen mm. termoplastisia muoveja (PE, PVC), fluoropolymeereja (ETFE, PTFE, FEP) tai elastomeereja (CSM, SIR) [1, s. 1181]. Materiaaleilla on eroja mm. joustavuudessa, läpilyöntikestävyydessä ja lämpötilan kestossa. Eristemateriaalia valittaessa on otettava huomioon myös johtimessa kulkevasta virrasta aiheutuva lämpö. Taulukossa 1 on erilaisten eristemateriaalien ominaisuuksia.

Taulukko 1. Eri eristemateriaalien ominaisuuksia [2]

Materiaali	Tiheys	Sulamislämpötila
PTFE	2200 kg/m ³	327 °C
PVC	1200 kg/m ³	160 °C
PE	880–960 kg/m ³	115–135 °C
FEP	2150 kg/m ³	260 °C
EPDM	900–2000 kg/m ³	90 °C

2.2.2 Johtimet

Johtimen johdinmateriaalina käytetään yleisesti monisäikeistä kuparijohdinta. Jatkuvasti tiukentuvat päästö määräykset ovat pakottaneet myös valmistajat suunnittelemaan kevyempiä johtosarjoja, joten puhtaan kuparijohtimen rinnalle on tullut erilaisia kuparin, alumiinin, tinan, magnesiumin ja nikkelin seoksia [3]. Jalommat johdinmateriaalit ovat kevyempiä, ja niillä on pienempi ominaisvastus, joten kaapeleista voidaan tehdä kevyempiä. Haittapuolena on valmistuskustannusten kasvu raaka-aineiden ollessa kalliimpia [4]. Taulukossa 2 on vertailtu eri johdinmateriaalien ominaisuuksia ja hintoja.

Taulukko 2.

Johtimissa käytettävien metallien ominaisuuksia [4]

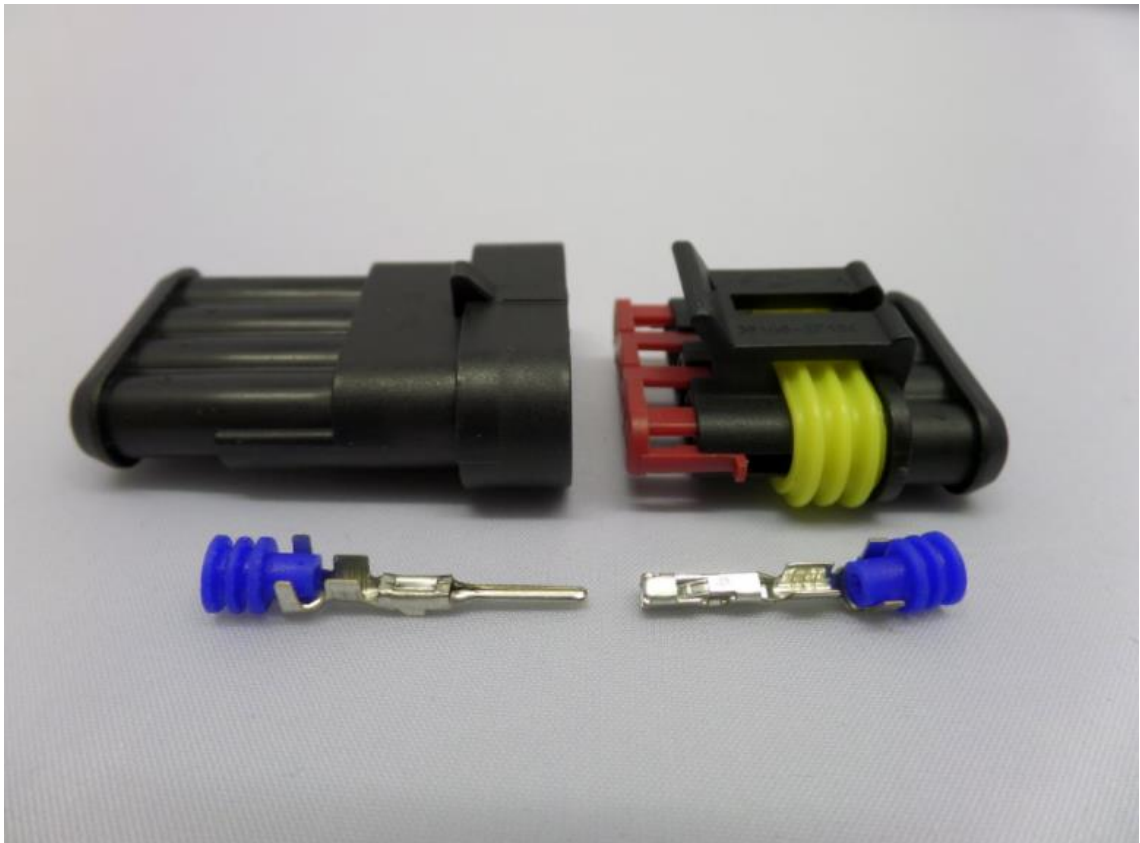
Materiaali	Ominaislämpökapas. [kJ/kgK]	Sähkönjohtavuus [S/m]	Tiheys [kg/m ³]	Hinta [\$/t]
Kupari	0,385	59,526*10 ⁶	8,96*10 ³	6933,0
Alumiini	0,897	38,000*10 ⁶	2,70*10 ³	2105,0
Magnesium	1,023	22,800*10 ⁶	1,738*10 ³	2260,0
Tina	0,227	9,100*10 ⁶	5,769*10 ³	19410,0
Nikkeli	0,444	14,000*10 ⁶	8,908*10 ³	12015,0

2.2.3 Liittimet

Nykyaikaisessa keskiluokan henkilöautossa on noin 120 liittintä, joissa on yhteensä noin 1500 erillistä kontaktipistettä. Liitoksille on asennuskohteesta riippuen erilaisia vaatimuksia [1, s. 1181–1184]:

- tehonkesto
- ympäristöolosuhteet (lämpötila, kemikaalit)
- värinän kesto
- eristysteho
- kustannukset.

Liittimiä on useita erityyppisiä käyttökohteesta riippuen. Suuria liitinvalmistajia ovat mm. TE Connectivity, Molex ja Delphi, joilla jokaisella on useita kymmeniä eri liittintyyppiä standardista ja käyttötarkoituksesta riippuen. Valtaosa ajoneuvossa olevista liittimistä on eristettyjä moninapaliittimiä. Poikkeuksiakin on; mm. käynnistys- ja latausjärjestelmän suuria jatkuvia virtoja kuljettavat johtimet on yleensä liitetty eristämättömillä rengasliittimillä. Johdin on kiinnitetty liittimen kontaktiin puristamalla kontakti tiukasti johtimen ympärille. Eri kontakteille on erilaiset puristustyökalut ja niiden käyttö on ehdottoman tärkeää, jotta saavutetaan valmistajan lupaamat ominaisuudet. Kuvassa 1 näkyy eristetyn moninapaliittimen (AMP Superseal) rakenne. Liitin koostuu liitinrungosta, rungon tiivisteestä, lukituskappaleesta, kontaktista ja kontaktin tiivisteestä.



Kuva 1. Eristetty moninapaliitin AMP Superseal [5]

Liitinvalmistajalta on saatavilla tarkat tiedot liittimien ja pinnien ominaisuuksista, mm.

- rungon, kontaktien ja tiivisteiden materiaaliveitohdot
- maksimivirta
- maksimijännite
- lämpötila-alue
- ympäristöominaisuudet
- jännitehäviö
- kontaktivastus
- eristysvastus
- liittimen kiinnitys- ja irrotusominaisuudet.

2.2.4 Suojaus

Johtosarjan johtimet on yleensä suojattu teipillä, suojaputkella, kutistesukalla tai näiden yhdistelmällä. Suojauksen tarkoituksena on paitsi suojata johtosarjaa ympäristön haitoilta, myös estää johtosarjassa olevien johtimien keskinäistä hankausta. Johtosarjan

teippaukseen suunniteltuja teippejä on useita, käyttökohteen vaatimuksista riippuen. Teipeissä liimana on yleisesti erilaisia akryylin seoksia ja runkomateriaalina mm. PE, PET, PP sekä erilaisia kankaita. Suojaputkia ja -sukkia on lukuisia erilaisia käyttökohteesta riippuen.

2.3 Materiaalien valinta

Moottorinohjaimen mukana tullutta yleismallista johtosarjaa käytettiin niiltä osin kuin se oli mahdollista. Sarja sisältää moottorinohjaimen liittimen sekä 2,5 m johdinta valmiiksi kiinnitettynä liittimen tarvittaviin kontakteihin. Kampi- ja nokka-akselin asentoanturien johtimet ovat häiriösuojatun kuoren sisällä. Nämä asentosignaalit ovat moottorin toiminnan kannalta tärkeimpiä ja siksi suojattava hyvin ulkoisilta häiriöiltä. Kaikki johtimet ovat PVC-päällysteistä monisäikeistä kuparijohdinta. Johtimien riittävä mitoitus varmistettiin kaavalla 1. Taulukossa 3 johtimien poikkipinta-alan mitoitusta.

Taulukko 3. Johtimien mitoitusta

Johdin	Virta [A]	Jännite [V]	Pituus [m]	Jännitehäviö [mV]	Ominaisvastus Cu [p]	Min. Poikkipinta-ala [mm ²]	Valittu poikkipinta-ala [mm ²]
Suuttimet 1,2	2,2	14,0	0,8	50	0,0185	0,65	1,0
Suuttimet 3,4	2,2	14,0	1,0	50	0,0185	0,81	1,0
Puolat 1,2	0,012	14,0	0,8	50	0,0185	0,004	1,0
Puolat 3,4	0,012	14,0	1,0	50	0,0185	0,004	1,0
Pa-pumppu	18,0	14,0	1,0	200	0,0185	1,67	2,5
Ahtimen kytkin	4,0	14,0	1,2	200	0,0185	0,44	1,0
Ahtimen venttiili	4,0	14,0	1,3	200	0,0185	0,48	1,0
Flekti	10,0	14,0	1,4	300	0,0185	1,3	2,5

Johtosarjassa päätettiin käyttää TE Connectivity Deutsch DT -sarjan liittimiä niiden hyvien ominaisuuksien sekä hyvän saatavuuden takia. Deutsch DT -sarja on suunniteltu käytettäväksi mm. moottoripyörissä, maastokulkuneuvoissa ja busseissa [6]. DT-sarja sisältää 2–48 napaisia uros- ja naarasliittimiä, ja sillä on IP68-luokitus. Kuvassa 2 on erilaisia DT-sarjan liittimiä.



Kuva 2. Deutsch:n DT-sarjan liittimiä [6]

Taulukossa 4 näkyy Deutsch:n DT-sarjan liittimien ominaisuuksia.

Taulukko 4. Deutsch:n DT -sarjan liittimien ominaisuuksia [6]

Liitintyyppi	Lämpötila-alue	Käyttökerrat	Eristysvastus	IP-luokitus	Värinän kesto
Deutsch DT	-55-125°C	>100	1000MΩ	IP68	20G 10-20000Hz

2.4 Johtosarjan rakennus

Johtosarjan rakennuksessa hyödynnettiin mahdollisuuksien mukaan Haltechin yleismallista johtosarjaa. Jännitteensyöttö moottorinohjausjärjestelmän eri komponenteille tapahtuu ohjaamossa olevan sulakerasian kautta. Sulakkeet mitoitettiin virrankulutuksen mukaan. Sulakkeina käytetään ATO-sulakkeita. Johtosarjan maadoituspisteeksi valittiin ajoneuvon runkopalkissa oleva M10-kierre. Samaan runkopalkkiin on kiinnitetty akun maajohdin ajoneuvon kontissa. Maasilmukoiden välttämiseksi sytytyspuolien maajohtimet on kiinnitetty sylinterikannen takaosaan. Moottorinohjainlaitteen anturien maadoitus

on kytketty suoraan akun miinusnapaan häiriöiden välttämiseksi. Moottori on maadoitettu ajoneuvon koriin 50 mm²:n kaapelilla. Liittimien kontaktien puristamiseen käytettiin liitinvalmistajan vaatimia puristustyökaluja.

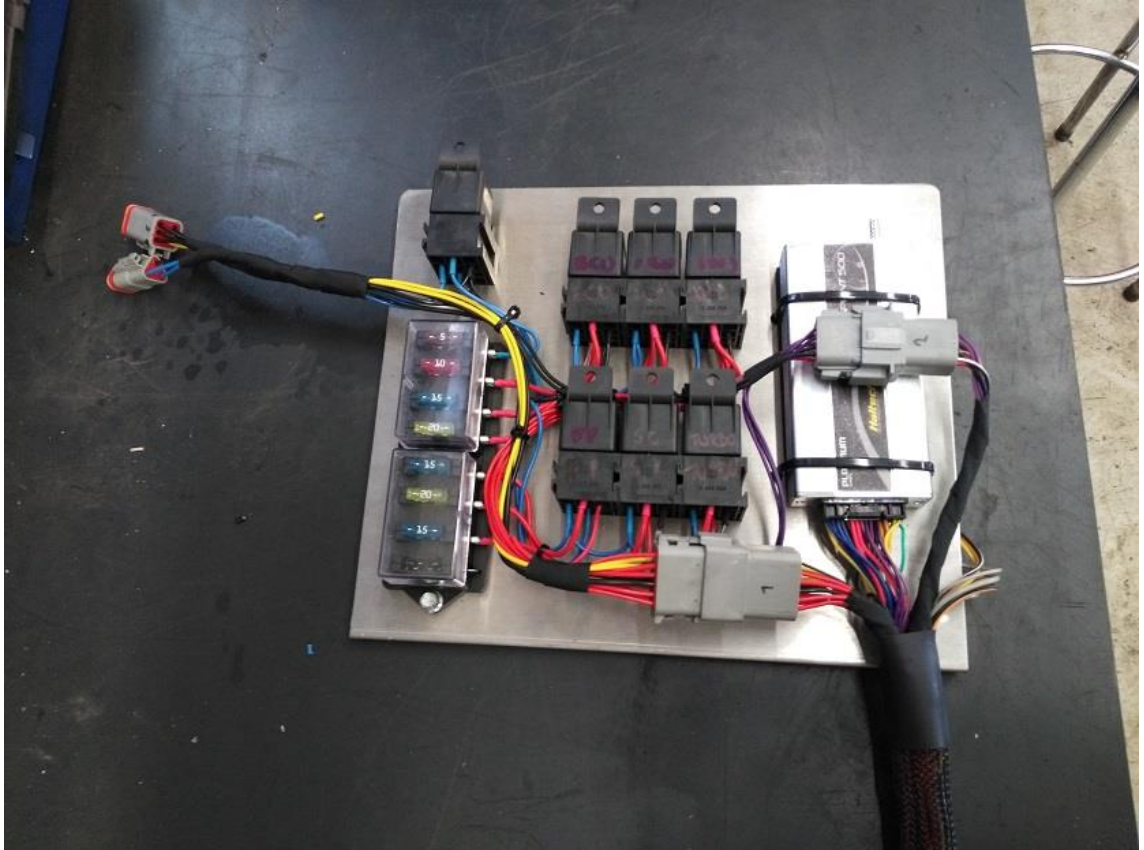
Yksi projektin tavoite oli tehdä moottorinohjausjärjestelmä ja siihen liittyvät johtosarjat täysin erilleen ajoneuvon muista sähköjärjestelmistä, jotta tarvittaessa moottorin ja moottorinohjausjärjestelmän siirtäminen ajoneuvosta toiseen olisi mahdollisimman helppoa. Päättiin valmistaa levy, johon kiinnitettäisiin moottorinohjainlaite, releet sekä sulakerasia. Kuvassa 3 näkyy komponenttien sijoittelua.



Kuva 3. Komponenttien sijoittelu asennuslevylle.

Levy asennettiin autoon matkustajan jalkatilan etuosaan kumivaimennetuilla kiinnikkeillä värinöiden vähentämiseksi. Moottorin irrottamisen helpottamiseksi päätettiin johtosarjaan tehdä liitoskohta, josta johtosarjan voi nopeasti kytkeä irti eikä johtosarjaa tarvitse purkaa moottorissa olevista kytkennöistä. Kuvassa 4 näkyy irrotusta helpottavat

liittimet sekä releiden kytkentää. Kuvasta 4 poiketen johtosarjan reititys muutettiin asennuslevyn toiselle puolelle ja ohjainlaitteen kotelosta kytkettiin maadoitusjohdin asennuslevyyn ja edelleen korin maadoituspisteeseen johtuen ohjainlaitteeseen aiheutuneista häiriöistä.



Kuva 4. Johtosarjan kytkentää asennuslevylle.

Johtosarja teipattiin half wound -tyyliin, jotta siitä ei tulisi liian jäykkää käsitellä. Teippauksen jälkeen päälle asennettiin nylonsukka, jonka päät suojattiin kutistesukalla. Kuvassa 5 näkyy nylonsukan alla teippaustapa.



Kuva 5. Nylonsukan alla nähtävissä käytetty teippausmenetelmä.

Johtosarja vietiin rintapellistä läpi riittävän suurella läpivientikumilla, jotta myös matkustamon puolella olevat liittimet mahtuvat siitä läpi. Läpivientikumille porattiin rintapeltiin halkaisijaltaan 52 mm:n reikä. Kuvassa 6 näkyvä läpivientikumi on 1990-luvun Toyota Corollasta.



Kuva 6. Käytetty läpivientikumi pujotettuna johtosarjan päälle.

Moottoritilassa johtosarjan oikea reititys on tärkeää, jotta vältetään kuumuudesta, kemikaaleista tai sähköisistä häiriöistä johtuvilta vaurioilta. Osittain siksi kytkentälevyn sijoituspaikaksi valittiin apukuljettajan jalkatila, sillä niin vältetään johtosarjan viemiseltä läheltä moottoritilan kuumia pintoja (pakosarja, turbo, pakoputki). Johtosarja vietiin moottorin etupuolelle imusarjan puolelta. Pakosarjan läheltä kulkeva nokka-akselin asentotunnistimen johtosarja suojattiin lämpöeristeellä, koska sen reititys muuta reittiä pitkin ei ollut mahdollista johtuen tunnistimen sijainnista. Moottorin pakokaasujen lämpötilat ovat rata-ajossa hetkittäin yli 900 °C, jolloin pakoputkiston pintalämpötilat ovat yli 500 °C. Tästä johtuen johtosarjan reititystä näiden komponenttien läheltä tulisi välttää ja tarvittaessa suojata lämmöltä erilaisin eristein ja lämpösuojin. Korjauksen helpottamiseksi johtosarja päätettiin myös haaroittaa mahdollisimman pian rintapellin läpiviennin jälkeen. Kuvassa 7 johtimien haaroitusta ja mitoitusta moottoritilassa.



Kuva 7. Johtimien mitoitusta moottoritilassa.

Kun johtimet saatiin mitoitetua ja haaroitettua, ne teipattiin ja suojattiin nylonsukalla ennen liittimien kiinnittämistä. Kuvissa 8 ja 9 on johtosarja mitoitetuna, haaroitettuna ja suojattuna.

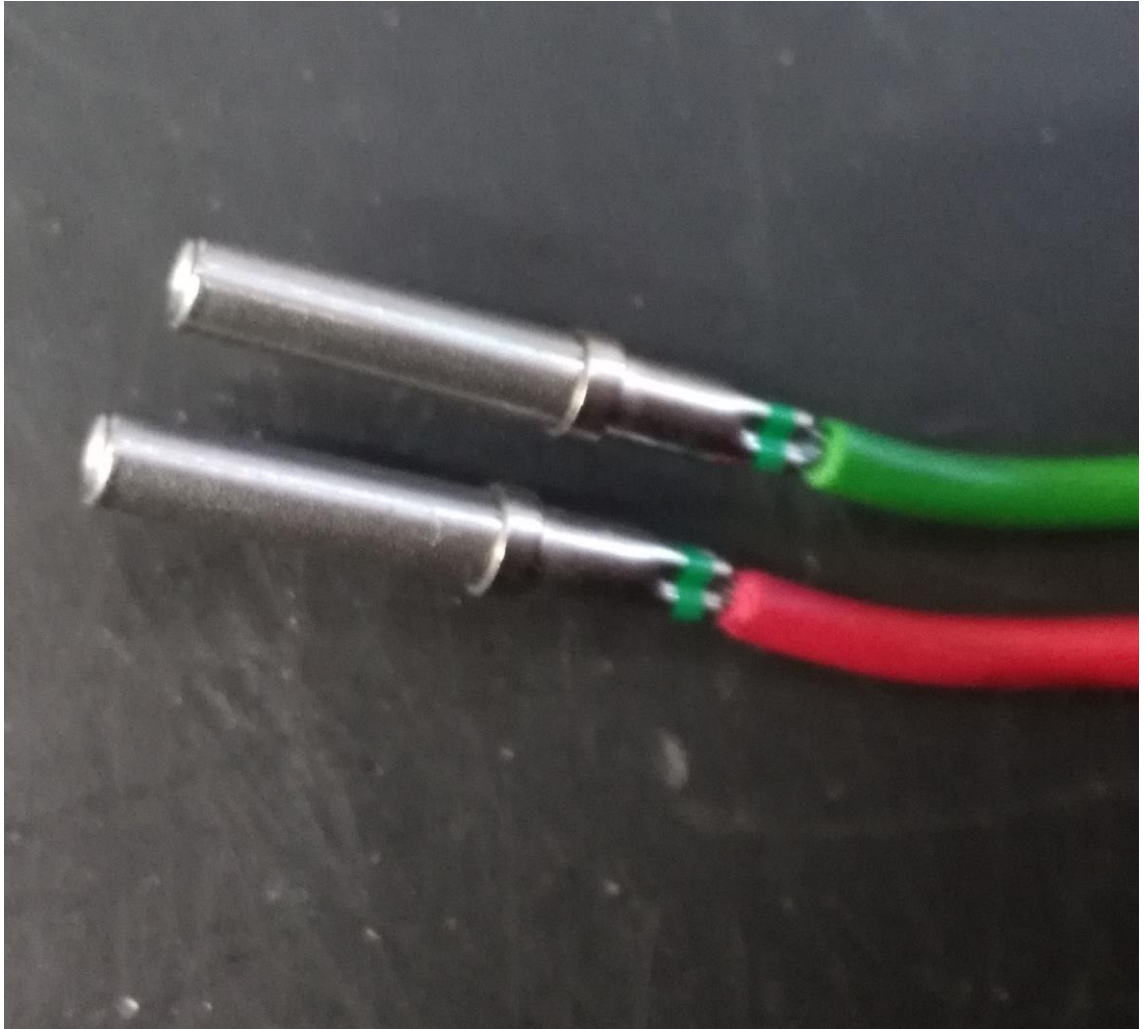


Kuva 8. Yleiskuva johtosarjasta ennen liittimien kytkemistä.



Kuva 9. Lähikuva kutistesukan käytöstä haaroituskohdissa.

Liittiminä käytettiin pääosin Deutsch:n DT-sarjan liittimiä, joiden kontaktit tulee puristaa erikoistyökalulla, jotta liitokselle saadaan ilmoitetut ominaisuudet. Kuvassa 10 on esimerkki puristetuista kontakteista.



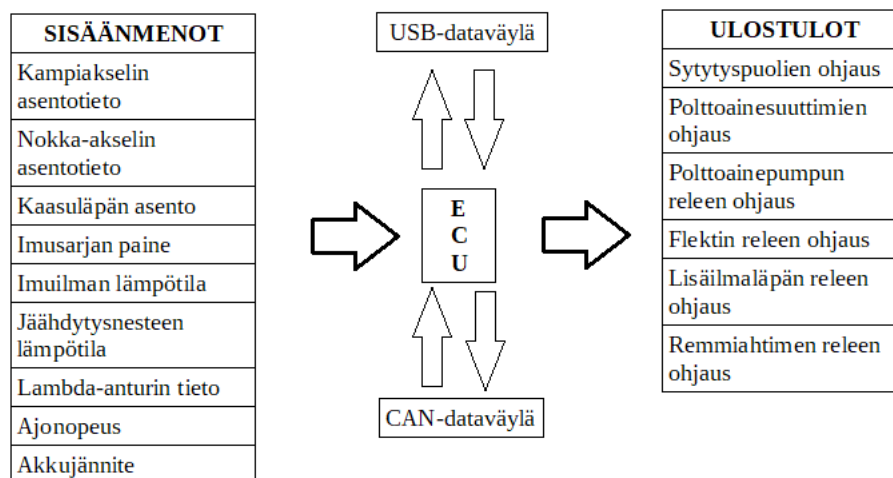
Kuva 10. Esimerkki puristetuista kontakteista.

Kun johtosarja oli saatu valmiiksi ja moottorinohjausta oltiin kalibroimassa, havaittiin tiedonsiirtoyhteyden katkeamista johtuen ylijännitteestä tiedonsiirtoväylässä moottorin suuremmilla kuormituksilla. Häiriöiden arveltiin johtuvan ohjainlaitteen puutteellisesta häiriösuojauksesta sekä ohjainlaitteen sijoittamisesta liian lähelle sytytyspuolien virtajohtimia. Koska ohjainlaite haluttiin pitää asennuslevyllä modulaarisuuden säilyttämiseksi, muutettiin johtosarjan reititys asennuslevyn toiselle puolelle. Lisäksi asennettiin 1,0 mm²:n lisämaadoitusjohdin ohjainlaitteen alumiinikotelosta asennuslevyyn ja asennuslevystä korin maadoituspisteeseen. Näillä muutoksilla tiedonsiirtoyhteyden häiriöt poistuivat.

Järkevintä olisi ollut siirtää ohjainlaite selvästi erilleen muista komponenteista, mutta se ei tässä vaiheessa ollut enää järkevästi mahdollista.

3 Moottorinohjaus

Moottorinohjaus on ajoneuvon järjestelmä, joka ohjaa moottorin eri toimilaitteiden toimintaa, jotta moottori toimii optimaalisesti joka tilanteessa. Jotta tämä on mahdollista, moottorinohjaus lukee tarvitsemansa tiedot moottorin erilaisilta antureilta, joiden perusteella se määrittää oikean ajankohdan kullekin toimenpiteelle. Elektroninen moottorinohjaus on korvannut valtaosin ennen käytössä olleet kaasuttimet sekä virranjakajatyypiset sytytysjärjestelmät. Ajoneuvojen alkuperäiset moottorinohjausyksiköt eivät yleensä ole säädettävissä. Työn kohteena olevaan ajoneuvoon asennetaan yleismallinen Haltech Platinum Sprint 500 -moottorinohjausjärjestelmä, joka on omalla säätöohjelmallaan säädettävissä käyttäjän haluamalla tavalla. Kuvassa 11 on kohdeajoneuvon moottorinohjauksen lohkokaavio.

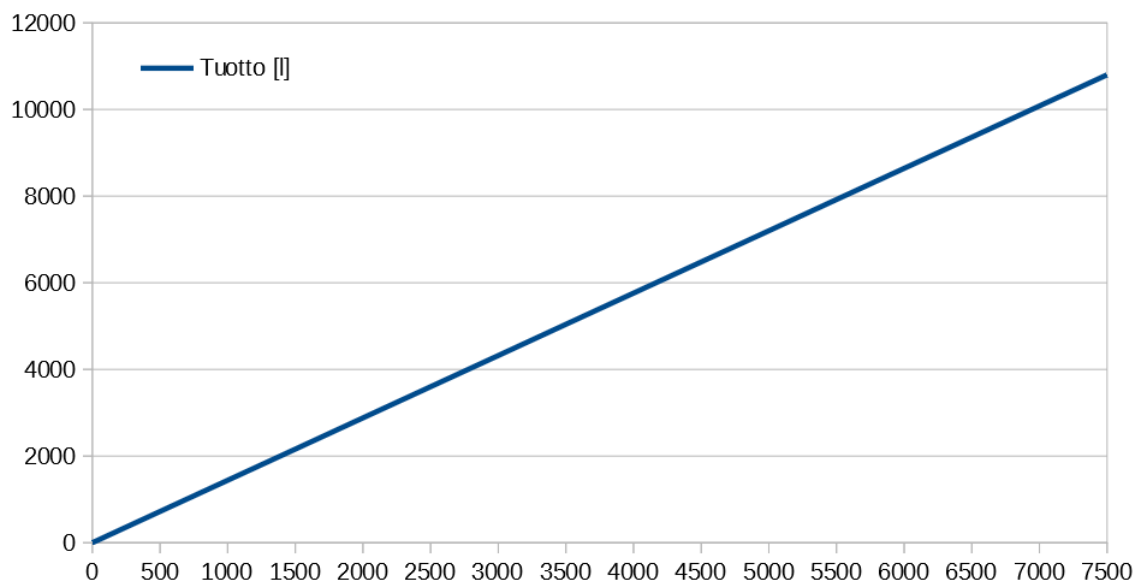


Kuva 11. Moottorinohjausjärjestelmän lohkokaavio.

Moottorinohjauksen yhtenä tehtävänä on muodostaa palotiloihin sopiva sylinteritäytös. Sylinteritäytökseksi kutsutaan imuventtiilien sulkeuduttua palotilaan jäävää kaasuseosta. Tämä kaasu koostuu edelliseltä työkierrolta palotilaan jääneestä palamiskaasusta sekä tuoreesta polttoaineilmaseoksesta, joka on imetty palotilaan imutahdin aikana. [7,

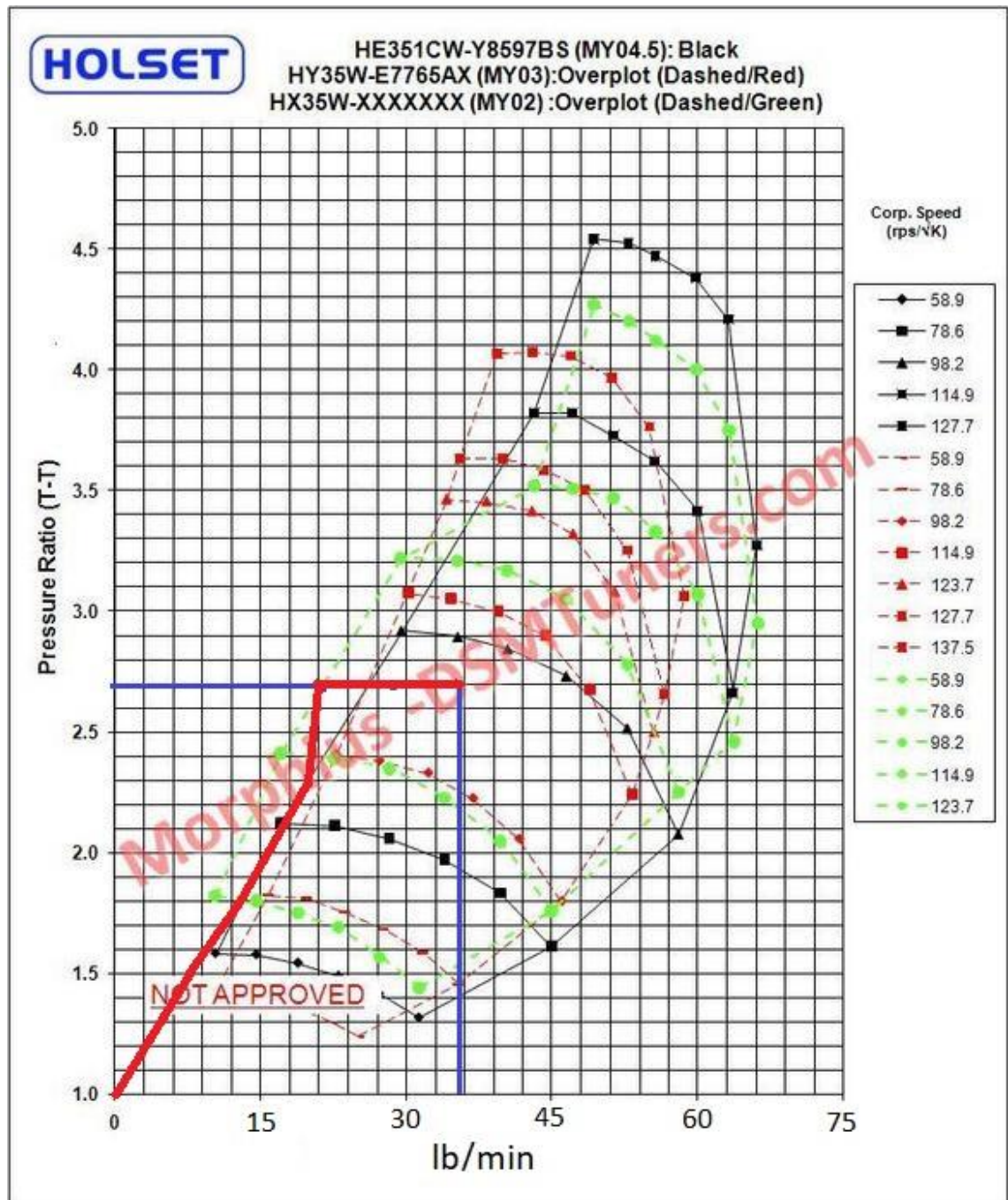
s. 12.] Mekaaninen kaasuläppä säätelee imusarjaan imettävän ilman määrää. Imusarjassa olevien polttoainesuuttimien kautta suihkutetaan laskettu polttoainemäärä, jotta saadaan oikea seossuhde. Imuventtiilien kautta tämä seos imetään palotilaan, jossa se puristetaan kokoon ja työtahdin aikana poltetaan. Moottorista saatavaa vääntömomenttia voidaan lisätä kasvattamalla sylinteritäytöksen tuoretta polttoaineilmaseosta mm. sylinteritilavuutta lisäämällä, pumppaushäviöitä vähentämällä tai ahtamalla moottoriin enemmän ilmaa kuin mitä se itse saisi imettyä. Kohteena oleva moottori on tilavuudeltaan pieni toivottuun tehoon nähden, joten sylinteritilavuutta kasvattamalla tai pumppaushäviöiden vähentämisellä ei olisi saavutettu haluttua tulosta ja päädyttiin ahtamaan moottori. Moottoriin päätettiin asentaa mekaaninen ahdin ja pakokaasuahdin.

Moottorin käyttöalueesta haluttiin mahdollisimman laaja, mutta koska kyseessä on 1600 cm³:n moottori, jossa ei ole muuttuva-ajoituksisia nokka-akseleita ja huipputehotavoite on 200 kW, todettiin, että pelkästään mekaanisella tai pakokaasuahdimella ei tavoitteen saavuttamiseen päästä, vaan on käytettävä molempia. Mekaaninen ahdin saa käyttövoimansa kampiakselilta hihnan välityksellä. Käytetty mekaaninen ahdin on Toyotan valmistama SC12-mallinen ruuviahdin. Ahtimen tuotto on 1200cm³ kierroksella, ja sitä pyöritetään 1,2:1 välityssuhteella kampiakseliin nähden. Mekaanisen ahtimen viiveettömän toiminnan ansiosta sillä saadaan välittömästi tuotettua lisäilmaa moottoriin ilman ns. turboviivettä. Kuvassa 12 on remmiahtimen tuotto litroina moottorin eri kierrosluvuilla. Mekaanisen ahtimen ahtopaine on säädetty välityssuhteen avulla n. 40 KPa.



Kuva 12. Mekaanisen ahtimen tuotto litroina moottorin kierroslukuun nähden.

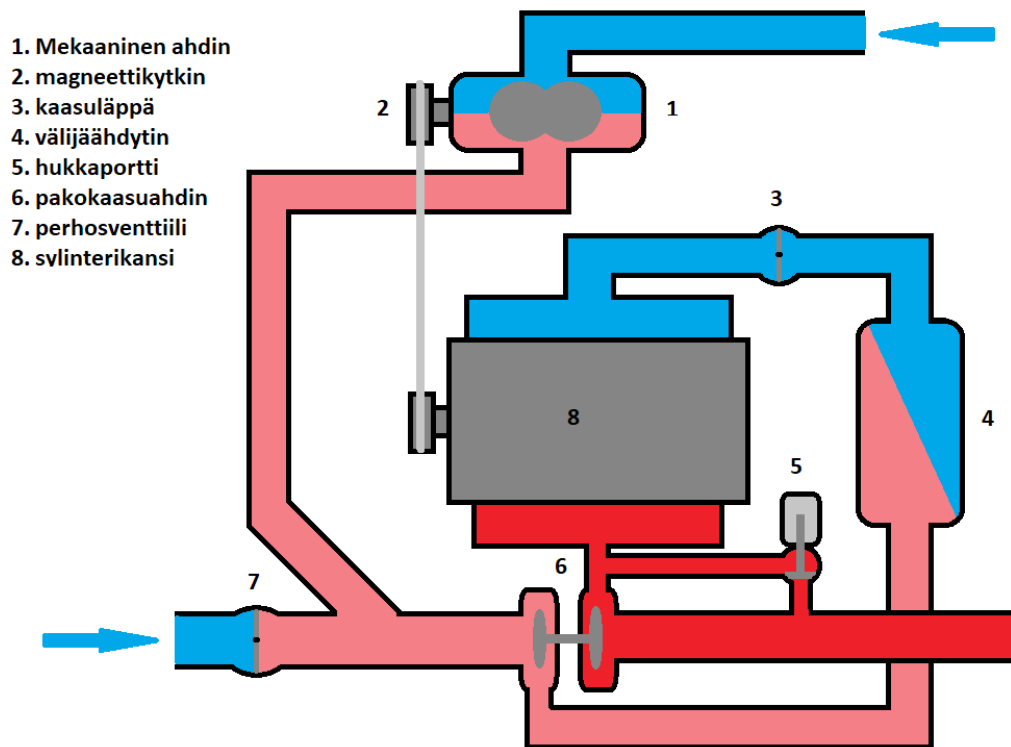
Pakokaasuahdin saa käyttövoimansa moottorista purkautuvista pakokaasuista. Pakokaasut pyörittävät turbiinipyörää, joka on kiinnitetty samaan akseliin kompressoripyörän kanssa. Kompressoripyörä pyörii kompressorissa ja ahtaa ilmaa välijäähdyttimen kautta moottoriin. Turbiini- ja kompressoripyörien sekä näiden koteloiden mitoituksella saadaan ahdin ominaisuuksiltaan halutun kaltaiseksi. Pakokaasuahtimeksi valittiin Holsetin valmistama HX35-malli. Ahdin on liukulaakeroitu ja vesijäähdytetty, eikä siinä ole integroitua hukkaporttia. Kuva 13 on kyseisen ahtimen kompressorikartta (vihreät viivat), johon on merkitty punaisella viivalla alue, jolla ahdin toimii moottorissa. Toiminta-alue on lähellä ahtimen surge-rajaa, ja moottorin toiminta luultavasti paranisi vaihtamalla ahdin hieman pienempään. Ahtimen koosta johtuen myös moottorin ”turbo lag” olisi pelkällä pakokaasuahtimella huomattavan suuri. Pakokaasuahtimen ahtopainetta säädetään erillisellä Precisionin valmistamalla 40 mm:n hukkaportilla, jota ohjataan imusarjan paineella sekä esijännitetyllä jousikuormalla. Pakokaasuahtimen ahtopaineeksi on säädetty hukkaportin avulla n. 170 KPa.



Kuva 13. Pakokaasuahtimen kompressorikartta. Punaisella merkitty toiminta-alue moottorissa.

Ahtimet on liitetty samaan 2,5":n imuputkistoon. Mekaanisella ahtimella on oma ilmanotto, ja se ahtaa ilman pakokaasuahtimen kompressoripuolen läpi, ilmasta ilmaan -tyyppiseen välijäähdyttimeen ja sen läpi moottorin imusarjaan. Koska suuremmalla kuormalla pakokaasuahtimen imuilman määrä on suurempi kuin mekaanisen ahtimen tuottama ilmamäärä, on ahtimien väliseen imuputkeen asennettu 80 mm:n sähköinen perhosventtiili, joka avaa pakokaasuahtimelle vapaan imuilmakehanavan. Kuvassa 14 näkyy

ahtimien liitântätapa. Sininen ja punainen väri kuvaa karkeasti putkistossa kulkevan ilman lämpötilaa.



Kuva 14. Ahtimien liitântätapa sekä komponenttien sijainti.

4 Komponentit

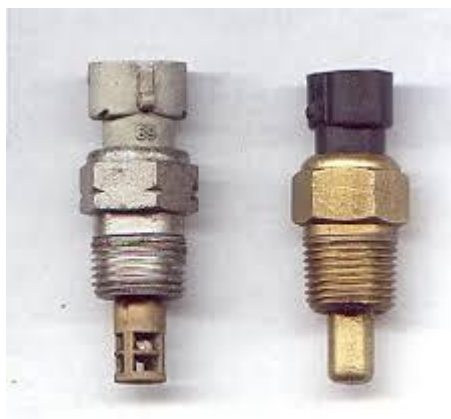
Moottorinohjausjärjestelmä koostuu erilaisista komponenteista. Tärkein komponentti on kuvassa 15 näkyvä moottorinohjausyksikkö. Muita komponentteja ovat mm. erilaiset lämpötila-anturit, asentoanturit, Hall-anturit, lambda-anturit, paineanturit, releet, polttoainesuuttimet, sytytyspuolat, sähkötoiminen perhosventtiili sekä remmiahtimen magneettikytkin. Lisäksi moottorinohjainlaitteeseen on kytketty CAN-väylällä monitoiminäyttö.



Kuva 15. Moottorinohjainlaite Haltech Platinum Sprint 500 [9].

4.1 Lämpötila-anturit

Lämpötila-antureita käytetään kahta erilaista, suljettua ja avointa mallia. Jäähdytysnesteen lämpötilan mittaukseen käytetään hitaammin reagoivaa suljetun mallin anturia. Imuilman lämpötilan mittaukseen käytetään avointa mallia, joka reagoi nopeasti lämpötilanvaihteluihin avoimen rakenteensa takia. Molemmat anturit ovat NTC-tyyppisiä, eli anturin resistanssi laskee lämpötilan kasvaessa. Kuvassa 16 vasemmalla on avoin ja oikealla suojattu anturi.



Kuva 16. Erilaisia lämpötila-antureita [10].

4.2 Asentoanturit

Kaasuläpän asentoanturina käytetään Toyotan alkuperäistä 89452-22080-anturia. Anturin kontaktijärjestys mitattiin toisesta ajoneuvosta ja anturi kalibroitiin säätöohjelmiston avulla. Kuvassa 17 kaasuläpän asentoanturi.



Kuva 17. Kaasuläpän asentoanturi [11].

Kampiakselin ja nokka-akselin asentoantureina käytetään Hall-tyypin antureita. Hall-anturi perustuu Hall-ilmiöön ja se tuottaa suoraan kanttiaaltoista signaalia jolloin ei tarvita erillistä A/D-muunninta. Kuvassa 18 Hall-anturi.



Kuva 18. Hall-anturi [12].

4.3 Paineanturit

Imusarjassa vallitsevan paineen mittaukseen käytetään ohjainlaitteen sisäistä paineanturia. Sisäisen anturin toiminta-alue on 0–250 kPa, joka riittää mittaamaan n. 150 kPa

ahtopaineeseen saakka. Johtosarjaan rakennettiin valmius myös ulkoiselle paineanturille, sillä tulevaisuudessa sille voi olla tarvetta.

4.4 Lambda-anturi

Lambda-anturina käytetään Innovaten MTX-L-mallia, joka käyttää Boschin LSU 4.2 -anturia. Lambda-anturi mittaa pakokaasujen happipitoisuutta, jonka avulla moottorinohjainlaite säättää seosta ohjainlaitteeseen määritellyn AFR-target-kartan mukaan. Kuvassa 19 lambda-anturi, ohjainlaite sekä johtosarja.



Kuva 19. Innovate MTX-L: ohjainlaite, kytkentäsarja sekä Bosch LSU4.2 -anturi. [13]

4.5 Sytytyspuolat

Moottori on alkuperäisesti varustettu kahdella puolalla sekä sytytysmoduulilla. Järjestelmän yksinkertaistamiseksi ja parantamiseksi moottoriin vaihdettiin Toyotan ZZ-sarjan moottorista olevat COP-tyyppiset puolat (osa nro 90080-19015), jotka kiinnittyvät suoraan sytytystulppaan. Puolat on varustettu sisäisellä sytytysmoduulilla. Puolien vaihdolla saatiin poistettua häiriötä aiheuttavat sytytysjohtimet sekä yksinkertaistettua johtosarjaa. Kuvassa 20 Toyota 90080-19015 -puola.



Kuva 20. Moottorissa käytettävä Toyota 90080-19015 -sytytyspuola [14].

4.6 Polttoainesuuttimet

Polttoainesuuttimina käytetään Bosch EV14 -runkoon perustuvia Fiveomotorsportin suuttimia. Suuttimista virtaa polttoainetta 3 bar:n paineella 850 cc/min. Suuttimien resistanssi on 12,5 ohm. Moottorinohjainyksikössä ei saa käyttää alle 8 ohm:n suuttimia, koska on vaarana suuttimien ohjainpiirin rikkoutuminen. Kuvassa 21 moottorissa käytettävä suutinmalli.



Kuva 21. Moottorissa käytettävä polttoainesuutin [15].

4.7 Lisäilmaventtiili

Moottorissa on käytettävä erillistä venttiiliä imuputkistossa, josta saadaan avattua turboahtimelle vapaa ilmansaanti, kun sen vaatima ilmamäärä ylittää remmiahtimen tuottaman ilmamäärän. Venttiilinä käytetään Hitachin valmistamaa elektronista kaasuläppäkotelo, joka on käytössä Nissanin 3.5 l:n V6-moottorissa. Venttiili on kooltaan 85 mm, ja sen avautumista ohjataan moottorinohjainlaitteella. Kuvassa 22 käytetty venttiili.



Kuva 22. Hitachin valmistama elektroninen kaasuläppä, jota käytetään lisäilmaventtiilinä [16].

4.8 Mekaanisen ahtimen magneettikytkin

Mekaaninen ahdin aktivoidaan tarvittaessa hihnapyörään rakennetulla magneettikytkimellä, jota ohjataan moottorinohjainlaitteella. Samantyyppistä kytkintä käytetään mm. ilmastoinnin kompressoreiden kytkiminä. Kuvassa 23 mallikuva kytkimestä.



Kuva 23. Mekaanisen ahtimen hihnapyörässä käytetty kytkintyyppi. [17]

4.9 Monitoiminäyttö

Mittaristona käytetään Racepak iQ3 -monitoiminäyttöä, joka on yhdistetty CAN-väylällä moottorinohjainlaitteeseen. Mittaristossa on mahdollista näyttää 28 eri arvoa halutulla tavalla. Lisäksi mittaristossa on 4 kpl ohjelmoitavia varoitusvaloja sekä ohjelmoitavat vaihtovalot. Mitta-arvoja näytetään 7 kpl/sivu, ja sivuja on 4 kpl. Vaihto sivujen välillä tapahtuu rattiin sijoitetuilla painonapeilla. Mittariston konfigurointiin käytetään Racepak DataLink II -ohjelmistoa. Kuvassa 24 on käytetty mittaristo.



Kuva 24. Mittaristona käytetty Racepak iQ3 -monitoiminäyttö. [18]

4.10 Ajonopeusanturi

Ajoneuvon nopeuden mittaamiseen käytetään Nissan Almeran kampiakselin asentoanturia. Anturi on Hall-tyyppinen ja se lukee kardanin pyörintänopeutta värinänvaimentimen ruuvinkannoista. Nopeustieto kalibroitiin säätöohjelmistoon GPS-nopeusmittarin avulla. Nopeustiedon avulla mittaristoon saatiin myös vaihdenäyttö. Moottorinohjainlaite laskee kytketyn vaihteen ajoneuvon nopeudesta ja moottorin kierrosluvusta.

5 Anturointi

Moottorinohjainjärjestelmää suunniteltaessa päätettiin moottorin alkuperäiset anturit korvata nykyaikaisemmilla ja helpommin saatavilla olevilla vaihtoehdoilla. Alkuperäisesti

moottori lukee kampi- ja nokka-akselin asentotiedot nokka-akselin pyörittämältä akselilta, eikä menetelmä ole riittävän tarkka korkeilla kierrosnopeuksilla johtuen mm. jakohihnan aiheuttamasta heitosta. Alkuperäiset asentotunnistimet ovat induktiotyypisiä, mutta ne korvattiin Hall-tyypin antureilla, jotta vältetään A/D-muuntimen käytöltä.

5.1 Kampi- ja nokka-akselin asentoanturit

Kampiakselin hihnapyörään asennettiin 32-1-hampainen triggeripyörä, jota lukee Hall-anturi. Anturille tehtiin tukeva teline, ja sillä on 1,0 mm:n ilmaväli triggeripyörään. Kuvassa 25 on triggeripyörä ja anturi asennettuna.



Kuva 25. Kampiakselin asentotunnistin sekä triggeripyörä.

Nokka-akselin asentotunnistimena on samanlainen Hall-anturi kuin kampiakselilla. Nokka-akselille tehtiin yksihampainen triggeripyörä, jota anturi lukee 1,0 mm:n ilmavälillä.

5.2 Lämpötila-anturit

Jäähdytysnesteen lämpötila-anturi sijoitettiin sylinterikannen takapäähän, kannesta pois virtaavaan kanavaan. Tästä saadaan mahdollisimman realistinen mittaustulos jäähdytysnesteen lämpötilasta sylinterikannessa. Kuvassa 26 jäähdytysnesteen lämpötila-anturin sijoituskohta.

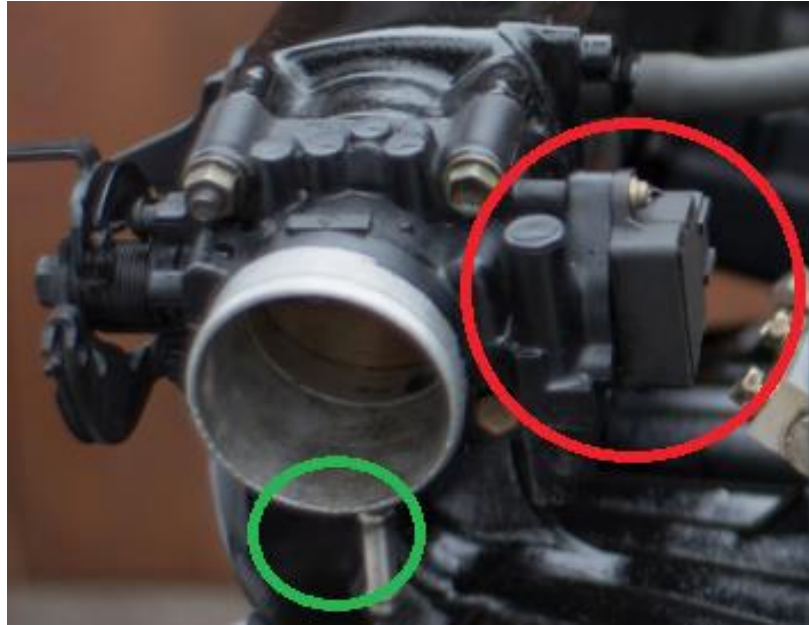


Kuva 26. Jäähdytysnesteen lämpötila-anturin sijoituskohta.

Imuilman lämpötila-anturi sijoitettiin imuputkeen mahdollisimman lähelle kaasuläppää. Anturia ei sijoitettu imusarjaan, sillä siinä on todennäköistä ns. heat soak -ilmiö, joka vääristää mittaustulosta. Imuputkessa ollessa lämpö ei siirry anturin rungon kautta niin voimakkaasti. Anturi asennettiin 90 asteen kulmaan ilmavirtaukseen nähden. Kuvassa 27 on ympyröity anturin sijoituskohta vihreällä.

5.3 Kaasuläpän asentoanturi

Kaasuläpän asentoanturi mittaa kaasuläppäakselin kulmaa. Anturi on kiinnitetty kaasuläppäkoteloon ruuvikiinnityksellä ja läppäakseli asettuu anturin uraan tiukasti. Kuvassa 27 on ympyröity kaasuläpän asentoanturi punaisella.



Kuva 27. Kaasuläpän asentoanturi ympyröity punaisella ja imuilman lämpötila-anturin sijoituskohta vihreällä.

5.4 Imusarjan paineanturi

Imusarjan painetunnistimena käytetään ohjainlaitteen sisäistä paineanturia. Luotettavan mittaustuloksen saamiseksi moottoritilaan asennettiin pieni säiliö, johon kytkettiin imusarjasta 12 mm:n sisähalkaisijalla oleva letku. Säiliöstä kytkettiin 3 mm:n sisähalkaisijalla olevat letkut ohjainlaitteen paineanturille, polttoaineen paineensäätimelle, dump-venttiilille sekä hukkaportille.

6 Säättöohjelmisto

Moottorinohjauksen kalibrointiin vaaditaan oma säättöohjelmisto. Haltech:n Platinum-sarjan ohjainlaitteiden kalibrointiin käytetään Haltech ECU Manager -ohjelmaa. Säättöohjelmaa käytetään tietokoneella, jonka on täytettävä taulukon 5 vaatimukset.

Taulukko 5.

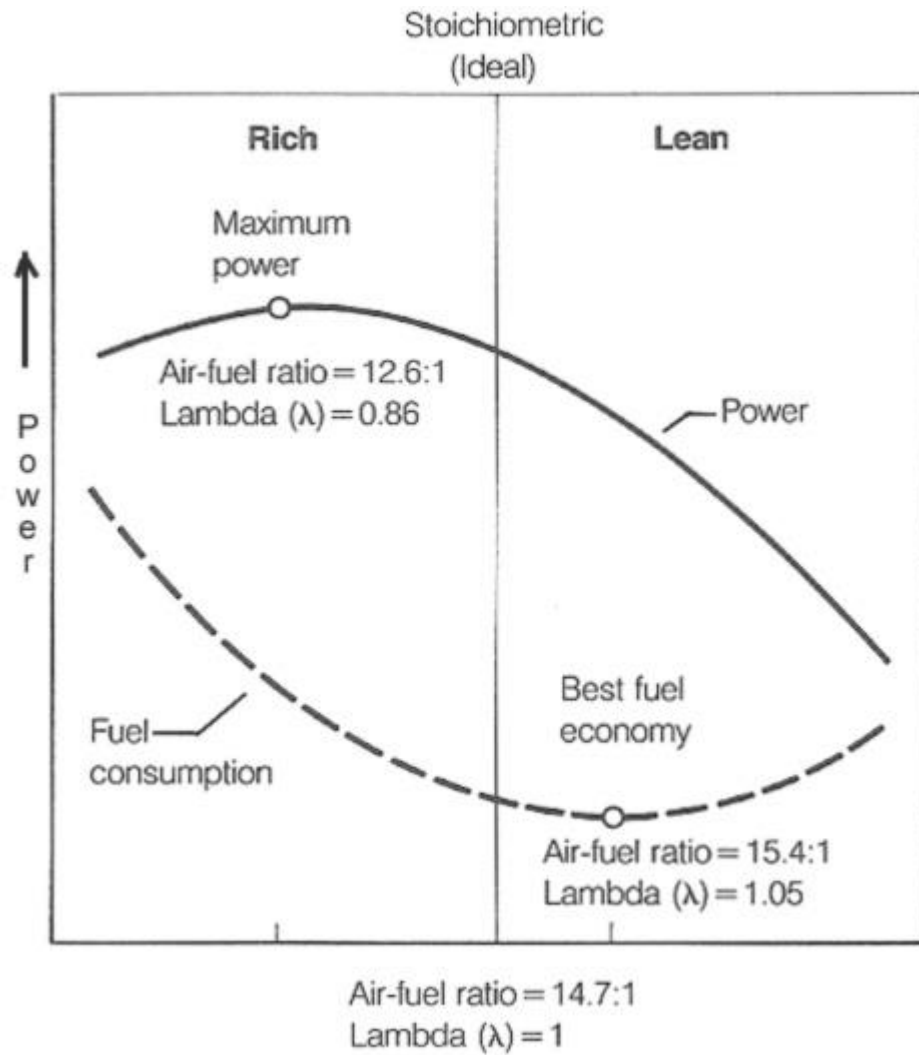
Säätöohjelmiston järjestelmävaatimukset [19].

Suoritin	1GHz
Näyttönohjoin	128MB 3D
Kovalevy	250MB HDD
Käyttöjärjestelmä	Windows XP tai uudempi
Näytön resoluutio	1024x768 pikseliä

Säätöohjelmisto on täysin käyttäjän kustomoitavissa. Polttoaine- ja sytytyskarttojen resoluutio on 16 x 16. Karttoja voi esittää numeerisena, 2D- tai 3D-muodossa. Säätömetodiksi ohjelmistossa voi valita polttoaineen suihkutusaajan tai volumetrinen hyötysuhteen. Jos säätömetodina on polttoaineen suihkutusaika, säätöohjelmassa polttoainekarttoihin määritetään polttoainesuuttimien aukioloaika eri kuormitustilanteissa. Tämä säätömetodi on hieman vanhanaikainen eikä mahdollista ohjainlaitteen kaikkia ominaisuuksia. Nykyaikaisempi, volumetrinen hyötysuhde (VE)-metodi on käytettävissä, kun moottorin kuormitussignaalinä käytetään imusarjan painearvoa tai kaasuläpän asentoarvoa. VE-metodissa ohjainlaite laskee oikean suihkutusaajan VE-, Injector Flow- ja Target AFR-karttojen perusteella. Tämä metodi mahdollistaa mm. ohjainlaitteen automaattisen säädön halutun Target AFR -kartan mukaan. VE-metodissa polttoainekartan solut ovat prosenttiarvoja täydellisestä volumetrisestä sylinteritäytöksestä. Koska moottori on ahdettu, voivat prosenttiarvot olla yli 100. Moottorinohjainlaitteessa on käytössä sekventiaalinen polttoaineen suihkutuksen ja sytytysjärjestelmä, eli jokaista sytytyspuolaa ja polttoainesuutinta ohjataan yksilöllisesti.

7 Säätäminen

Moottorinohjainlaitteen säätämisellä tarkoitetaan polttoaine- ja sytytyskarttojen optimointia kyseiselle moottorille. Moottorin polttoaineilmaseosta säädetään ja muutoksia seurataan happitunnistimen lambda-arvosta. Happitunnistimen ohjainlaite muuttaa lambda-arvon AFR-arvoksi. Kuvasta 28 ilmenee AFR-arvon vaikutus moottorin tuottamaan tehoon ja polttoaineen kulutukseen. AFR-arvolla on myös suuri vaikutus moottorin pakokaasupäästöihin.



Kuva 28. AFR-arvon vaikutus moottorin suorituskykyyn [20].

Ohjainlaitteeseen on ladattavissa erilaisia peruskarttoja, joilla moottorin saa käymään ja kalibrointi on helpompaa niiden pohjalta, kuin täysin tyhjältä kartalta. Kuvissa 29 ja 30 on ohjainlaitteen lähtöarvot sekä säädetyn moottorin kartat allekkain.

	-100,0	-80,0	-70,0	-60,0	-40,0	-20,0	-10,0	0,0	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0	120,0	140,0	160,0
9000	38,0	38,0	38,0	38,0	33,6	29,2	27,0	24,8	21,8	18,8	15,8	13,0	10,4	8,4	6,0	4,4
8000	38,0	38,0	38,0	38,0	33,6	29,2	27,0	24,8	21,8	18,8	15,8	13,0	10,4	8,4	6,0	4,4
7000	38,0	38,0	38,0	38,0	33,4	28,8	26,6	24,4	21,4	18,6	15,8	12,8	10,2	8,2	5,8	4,2
6000	38,0	38,0	38,0	38,0	33,2	28,6	26,2	24,0	21,2	18,4	15,6	12,8	10,0	8,0	5,6	4,0
5500	38,0	38,0	38,0	38,0	33,2	28,6	26,2	24,0	21,2	18,4	15,6	12,8	10,0	8,0	5,6	4,0
5000	38,0	38,0	38,0	38,0	33,0	28,0	25,4	23,0	20,0	17,2	14,2	11,2	8,4	6,4	4,0	2,4
4500	38,0	38,0	38,0	38,0	32,6	27,2	24,6	22,0	19,0	16,0	13,0	10,0	7,0	5,0	2,6	1,0
4000	37,0	37,0	37,0	37,0	31,2	25,6	22,8	20,0	17,0	14,2	11,4	8,4	5,6	3,8	1,4	-0,2
3500	36,0	36,0	36,0	36,0	30,0	24,0	21,0	18,0	15,2	12,4	9,6	6,8	4,0	2,2	-0,2	-1,8
3000	35,0	35,0	35,0	35,0	28,6	22,2	19,2	16,0	13,2	10,6	8,0	5,2	2,6	0,8	-1,6	-3,2
2500	30,0	30,0	32,0	33,0	27,0	21,0	18,0	15,0	12,2	9,4	6,6	4,0	1,2	-0,4	-2,8	-4,4
2000	20,0	20,0	25,0	30,0	24,0	18,0	15,0	12,0	9,4	7,0	4,6	2,0	-0,4	-2,0	-4,4	-6,0
1500	10,0	10,0	10,0	10,0	17,0	11,4	9,8	8,0	6,0	4,0	2,0	0,2	-1,8	-3,4	-5,8	-7,4
1000	10,0	10,0	10,0	10,0	13,0	8,0	6,0	5,0	3,2	1,6	0,0	-1,8	-3,4	-4,8	-7,2	-8,8
500	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	6,0	4,0	2,0	0,6	-0,8	-2,2	-3,4	-4,8	-6,0	-8,2	-9,4
0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	5,0	3,0	1,0	-0,4	-1,8	-3,2	-4,4	-5,8	-7,2	-9,2	-10,0

	-100,0	-80,0	-70,0	-60,0	-40,0	-20,0	-10,0	0,0	20,0	50,0	80,0	100,0	120,0	140,0	160,0	180,0
9000	38,0	38,0	38,0	38,0	36,6	32,2	30,6	27,0	26,4	21,6	21,8	20,4	20,0	19,0	15,0	15,0
8000	33,0	33,0	33,0	35,2	33,8	29,6	28,0	24,4	21,6	21,4	22,2	21,4	19,0	18,0	15,0	15,0
7000	33,0	33,0	33,0	34,4	33,0	29,0	27,4	23,8	19,6	19,0	19,2	18,2	17,0	17,0	15,0	14,0
6000	33,0	33,0	33,0	33,6	32,4	28,2	26,8	23,2	18,8	17,6	17,6	16,2	16,0	16,0	14,0	13,0
5500	33,0	33,0	33,0	33,2	32,0	28,0	26,4	22,8	18,2	17,0	16,6	15,2	15,4	15,4	13,4	12,4
5000	33,0	33,0	33,0	32,8	31,6	27,6	26,2	22,6	17,8	16,4	15,8	14,2	15,0	15,0	13,0	12,0
4500	33,0	33,0	33,0	32,4	31,2	27,4	25,8	22,2	17,4	15,6	15,0	13,2	13,4	13,4	11,4	10,4
4000	32,0	32,0	32,0	32,0	31,0	27,0	25,6	22,0	15,0	14,0	13,2	11,2	10,0	10,0	8,0	7,0
3500	30,2	29,6	29,4	29,2	28,6	25,2	24,0	21,6	14,4	13,2	12,2	10,0	9,4	9,4	7,4	6,4
3000	28,4	27,8	27,4	27,2	26,6	23,0	21,8	21,0	13,8	12,4	11,2	9,0	9,0	9,0	7,0	6,0
2500	26,8	26,0	25,6	25,2	24,6	20,8	19,6	19,0	12,0	10,4	10,0	8,0	8,4	8,4	6,4	5,4
2000	25,0	24,2	23,8	23,4	24,4	21,0	17,6	17,0	10,2	9,0	8,8	7,0	8,0	8,0	6,0	5,0
1500	21,2	20,8	20,8	20,6	24,4	21,2	18,0	15,0	10,4	9,0	7,6	6,0	5,4	5,4	5,4	5,0
1000	17,4	16,8	16,4	16,2	21,6	18,0	16,6	15,4	12,8	8,6	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
500	19,8	18,8	18,2	17,8	18,8	14,8	13,4	12,0	12,4	8,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
0	18,0	16,8	16,2	15,6	16,4	13,0	13,0	12,0	12,0	8,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

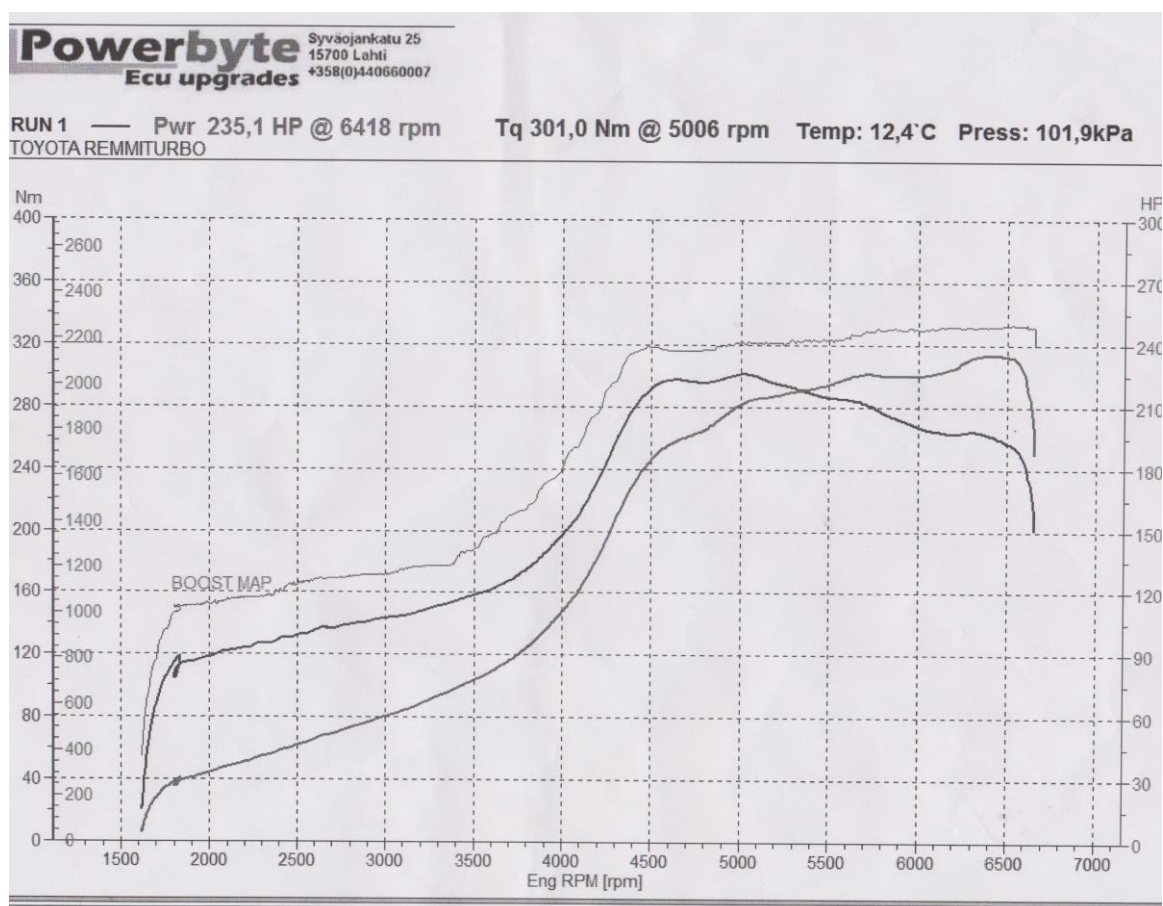
Kuva 29. Sytytysennakon säätökartta ennen ja jälkeen.

	-100,0	-80,0	-70,0	-60,0	-40,0	-20,0	-10,0	0,0	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0	120,0	140,0	160,0
9000	77,6	77,6	77,6	77,6	78,2	78,8	79,6	80,2	80,8	81,4	86,8	89,8	92,8	96,0	97,2	98,4
8000	77,2	77,2	77,2	77,2	78,0	78,8	79,8	80,4	81,2	81,8	87,8	90,8	93,8	97,0	98,2	99,4
7000	76,8	76,8	76,8	76,8	77,8	78,6	80,0	81,0	82,0	83,0	88,8	91,8	94,8	98,0	99,2	100,4
6000	76,4	76,4	76,4	76,4	77,6	78,6	79,8	81,0	82,2	83,4	89,2	92,2	95,2	98,4	99,6	100,8
5500	75,8	75,8	75,8	75,8	77,0	78,4	79,6	81,0	82,2	83,6	89,4	92,4	95,4	98,6	99,8	101,0
5000	74,0	74,0	74,0	74,0	76,4	78,0	79,4	81,0	82,4	84,0	89,8	92,8	95,8	99,0	100,2	101,4
4500	72,0	72,0	72,0	72,0	74,2	76,2	77,4	78,6	80,8	83,0	88,8	91,8	94,8	98,0	99,2	100,4
4000	67,0	67,0	67,0	67,0	67,8	70,6	73,4	76,2	79,2	82,0	87,8	90,8	93,8	97,0	98,2	99,4
3500	61,0	61,0	61,0	61,0	63,2	66,4	69,6	72,8	76,2	79,4	85,2	88,2	91,2	94,4	95,6	96,8
3000	60,0	60,0	60,0	60,0	62,2	65,2	68,4	71,6	74,8	78,0	83,8	86,8	89,8	93,0	94,2	95,4
2500	58,0	58,0	58,0	58,0	60,8	63,8	66,6	69,6	72,4	75,4	81,2	84,2	87,2	90,4	91,6	92,8
2000	57,0	57,0	57,0	57,0	59,6	62,2	65,0	67,6	70,2	73,0	78,8	81,8	84,8	88,0	89,2	90,4
1500	56,0	56,0	56,0	56,0	58,4	60,8	63,2	65,6	68,0	70,4	76,2	79,2	82,2	85,4	86,6	87,8
1000	55,0	55,0	55,0	55,0	56,0	58,4	60,8	63,2	65,6	68,0	73,8	76,8	79,8	83,0	84,2	85,4
500	55,0	55,0	55,0	55,0	56,0	58,0	60,0	62,0	64,0	66,0	71,8	74,8	77,8	81,0	82,2	83,4
0	55,0	55,0	55,0	55,0	56,0	57,8	59,6	61,4	63,2	65,0	70,8	73,8	76,8	80,0	81,2	82,4

	-100,0	-80,0	-70,0	-60,0	-40,0	-20,0	-10,0	0,0	20,0	50,0	80,0	100,0	120,0	140,0	160,0	180,0
9000	68,6	67,8	67,4	67,0	67,8	68,6	69,0	111,4	111,2	115,2	118,2	113,2	115,2	113,2	116,2	119,4
8000	67,2	66,8	66,6	66,0	67,0	68,0	73,2	100,8	101,0	102,8	104,8	109,0	109,8	118,0	121,6	122,2
7000	66,0	65,8	65,8	68,2	69,4	73,4	77,6	101,4	100,0	99,6	104,2	104,6	104,4	116,8	127,0	125,2
6000	64,8	64,8	65,0	64,4	68,6	71,0	81,8	99,6	98,8	96,4	98,4	100,4	109,4	115,6	123,8	128,0
5500	64,2	64,4	64,6	64,0	70,8	76,6	84,0	96,4	102,4	99,2	97,4	98,4	107,0	115,0	122,2	129,6
5000	63,6	64,0	64,2	63,6	79,6	79,6	90,4	95,8	102,4	99,6	100,0	98,4	105,8	114,4	120,6	127,0
4500	63,0	61,4	65,8	73,4	79,6	79,6	90,2	96,2	101,0	97,2	100,0	98,4	104,8	113,8	119,2	124,6
4000	62,4	68,2	69,2	74,4	75,6	86,4	92,2	96,8	97,4	95,8	98,4	99,6	103,8	109,8	110,0	116,0
3500	61,8	71,8	71,8	75,6	76,4	83,4	89,6	93,4	94,0	94,6	96,8	97,8	102,8	106,0	107,6	107,6
3000	61,2	71,8	71,8	79,0	81,6	80,4	87,0	90,0	90,4	93,2	95,4	97,6	101,8	104,2	103,6	103,6
2500	60,0	70,6	70,6	71,4	77,0	77,6	84,4	86,8	87,0	91,8	92,8	94,6	95,0	100,4	102,8	102,8
2000	59,0	70,6	72,6	72,4	72,6	75,0	81,8	83,4	87,2	90,6	92,2	93,8	92,2	96,6	98,8	98,8
1500	58,0	73,0	72,0	73,4	73,4	73,6	75,2	75,0	81,0	87,6	91,6	92,2	91,4	95,8	97,0	97,0
1000	57,0	72,0	71,2	74,6	73,0	71,4	70,6	72,2	75,0	84,8	90,2	91,4	90,6	94,8	95,0	95,0
500	57,0	71,0	72,0	75,6	69,4	64,8	66,0	67,4	69,8	84,2	89,6	90,8	89,8	94,0	94,2	94,2
0	57,0	71,0	67,0	72,0	69,2	60,4	61,4	62,6	64,8	83,8	89,0	90,0	89,2	93,2	93,4	93,4

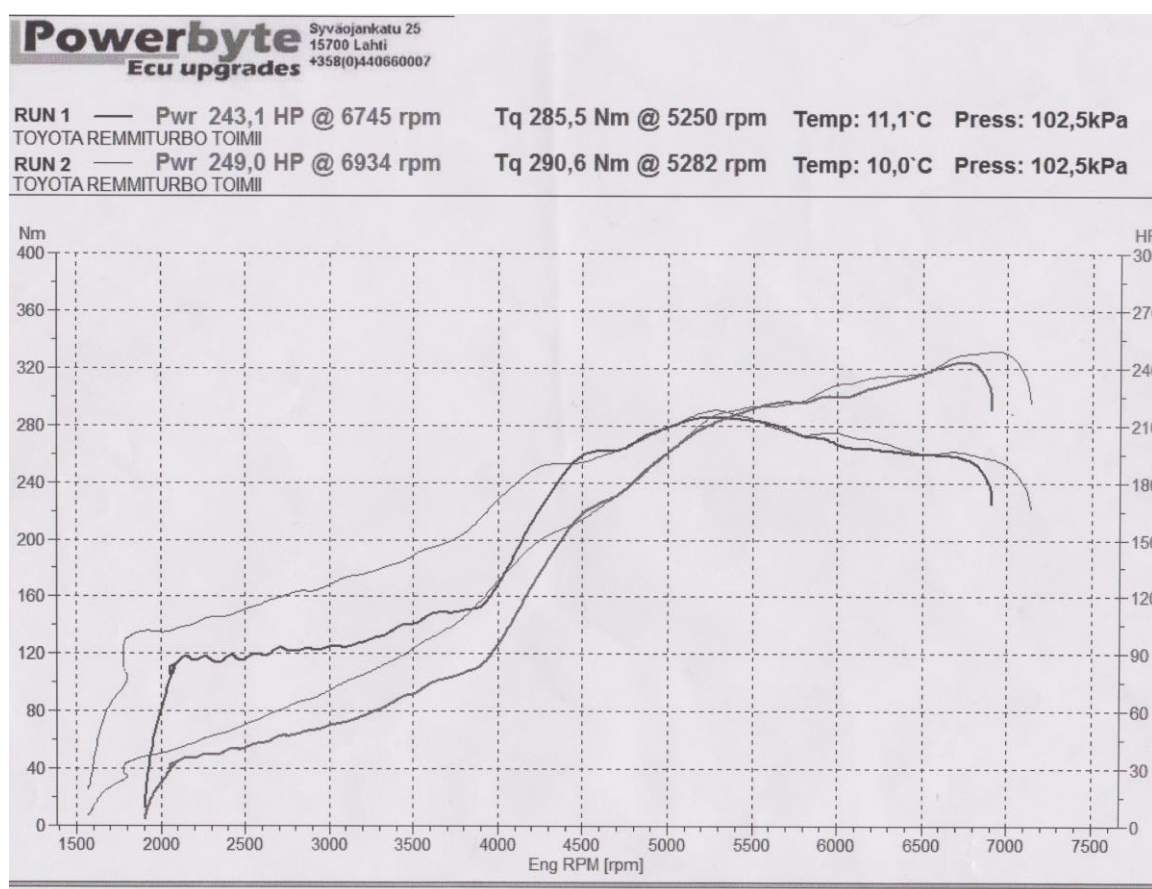
Kuva 30. VE-kartta ennen ja jälkeen kalibroinnin.

Moottoria ajettiin dynamometrissä erilaisilla kuormituksilla ja säädettiin polttoainekarttaa vastaamaan haluttua AFR-arvoa. Moottorin lohkon kiinnitettiin erillinen nakutusanturi säätämisen ajaksi, joka varoitti, jos nakutusta esiintyi. Kun polttoainekartta oli saatu karkeasti säädettyä sopivaksi, ajettiin erilaisia kiihdytyksiä dynamometrissä, joista kerättiin ohjainlaitteen tiedonkeruulla datalogit, ja kartoja säädettiin saadun datan perusteella. Sytytysennakkoa säädettiin samalla seuraten nakutusanturin dataa ja moottorin tuottamaa tehoa. Ajettaessa suuremmalla kuormalla havaittiin kytkimessä luistamista yli 120 kPa:n ahtopaineella, joten päätettiin säätää maksimiahtopaineeksi 120 kPa. Kun AFR-arvo oli saatu vastaamaan AFR-target karttaa riittävällä tarkkuudella, ajettiin täyskiihdytys 4. vaihteella mekaaninen ahdin poiskytkettynä ja lisäilmaläppä auki kytkettynä. Saatiin kuvan 31 mukainen mittaustulos. Kuten kuvasta näkyy, on moottori alakierroksilla varsin heikkotehoinen ja 4000 rpm:n jälkeen tulee suuri tehonlisäys. Moottori olisi hankala ajettava, ja vaihtenvaihdossa putoaisi pois tehoalueelta.



Kuva 31. Mittaustulos pelkällä pakokaasuahtimella.

Mekaanista ahdinta ja lisäilmaläppää ohjataan imusarjan paineen ja kaasuläpän asennon mukaan. Mekaaninen ahdin kytkeytyy päälle, kun TPS > 40 % ja pois päältä, kun TPS < 30 %. Vastaavasti lisäilmaläppä avautuu, kun MAP > 70 kPa ja sulkeutuu kun MAP < 10 kPa. Lisäilmaläppä on kytketty siten, että avautuessaan se katkaisee mekaanisen ahtimen kytkimen syöttöjännitteen. Tällöin aina, kun lisäilmaläppä on auki, on mekaaninen ahdin pois kytkettynä, eikä sen pyörittämiseen täten kulu turhaa tehoa. Mekaanisen ahtimen avulla saatiin pyörintänopeuksille 2600–4200 yli 40 Nm lisää vääntöä ja 15–30 HP lisää tehoa. Vääntö myös tulee moottorista ulos paljon tasaisemmin. Kuvassa 32 näkyy ohuilla käyrillä mittaustulos mekaanisen ahtimen kanssa ja paksuilla käyrillä ilman.



Kuva 32. Mittaustulos mekaanisen ahtimen kanssa.

8 Yhteenveto

Työssä pyrittiin suunnittelemaan ja toteuttamaan johtosarja moottorin komponenttien ja ohjainlaitteen välillä sekä selvittämään johtosarjalle asetettuja vaatimuksia ajoneuvoissa.

Lisäksi pyrittiin kalibroimaan moottorinohjainlaite kyseiselle moottorille optimaaliseksi. Johtosarjasta pyrittiin tekemään mahdollisimman modulaarinen, jotta moottorin siirto autosta toiseen olisi mahdollisimman vaivatonta. Työssä valmistettiin johtosarja moottorin ja Haltech-moottorinohjainlaitteen välille. Työssä havaittiin, että nykyaikaisen ajoneuvon johtosarjan suunnittelussa pyritään pienentämään johtosarjan massaa sekä valmistuskustannuksia. Työstä jäi puuttumaan johtosarjan kytkentäkaavioiden toteuttaminen suunnitteluohjelmalla. Työssä olisi voinut pohtia enemmän johtosarjan maadoituspisteiden valintaa. Ensimmäisellä kerralla dynamometrissä ajettaessa havaittiin tiedonsiirtoyhteyden katkeamista tietokoneen ja ohjainlaitteen välillä suurilla kuormituksilla. Arveltiin tiedonsiirtoyhteyden häiriöiden johtuvan ohjainlaitteen riittämättömästä häiriösuojauksesta sekä sytytyspuolien johdinten viemisestä liian läheltä ohjainlaitetta. Seuraavalle dynamometrikerralle muutettiin johdinsarjan reititystä ohjainlaitteen lähistöllä sekä lisättiin maadoitusjohdin ohjainlaitteen kuoresta ajoneuvon koriin. Muutosten jälkeen häiriöitä ei enää esiintynyt. Todettiin, että ohjainlaite olisi kannattanut sijoittaa eri paikkaan pois virtapiirien läheltä, joissa on suuria vaihteluita (esim. sytytyspuolien virtapiiri).

Työssä moottorinohjainlaite kalibroitiin säätöohjelman avulla dynamometrissä. Kalibroinnin yhteydessä selvitettiin ahtimien vaikutusta moottorin suorituskykyyn ja havaittiin, että mekaanisella ahtimella saavutetaan huomattava parannus moottorin suorituskykyyn alhaisilla pyörintänopeuksilla. Säättämällä mekaanisen ahtimen poiskytkentäajankohtaa ja lisäilmaläpän aukeamista saatiin moottorin vääntökäyrästä melko lineaarisesti kasvava. Ahtimien toiminta olisi parantunut, jos ohjainlaitteessa olisi ollut mahdollista ohjata niiden kytkentää vaihdekohtaisesti. Työn tavoitteet kuitenkin saavutettiin pääosin, ja työstä saatiin paljon uutta tietoa, jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa.

Lähteet

- 1 Wiring Harnesses. 2014. Bosch Automotive Handbook. Robert Bosch GmbH: Karlsruhe
- 2 Material Properties. 2018. Verkkoaineisto. Plastics International. <http://www.plasticsintl.com/sortable_materials.php>. Luettu 25.12.2017.
- 3 Cables with innovative conductor materials. 2017. Verkkoaineisto. Leoni Automotive. <<https://www.leoni-automotive-cables.com/en/products-challenges/cables-with-innovative-conductor-materials/>>. Luettu 25.11.2017.
- 4 Commodity and Metal Prices. 2017. Verkkoaineisto. InvestmentMine. <<http://www.infomine.com/investment/metal-prices/>>. Päivitetty 19.11.2017. Luettu 20.11.2017.
- 5 Automotive and marine cables. 2018. Verkkoaineisto. Kojaycat. <kojaycat.co.uk/Page/-/Category-4>. Luettu 25.11.2017.
- 6 Deutsch DT Connectors FAQ. 2017. Verkkoaineisto. TE Connectivity. <<http://www.te.com/usa-en/faqs/deutsch-dt-connectors.html>>. Luettu 26.11.2017.
- 7 Cylinder charge. 2015. Gasoline Engine Management. Konrad Reif.
- 8 How to read the HX35 & HX40 compressor map(s). Verkkoaineisto. DSM Tuners. <www.dsmtuners.com/threads/how-to-read-the-holset-hx35-hx40-compressor-map-s.362599>. Luettu 10.2.2018
- 9 Haltech Platinum Sprint 500. Verkkoaineisto. Naber Racing. <<https://naberracing.com/products/haltech-platinum-sprint-500-autospec-universal-wire-in-harness-kit-long>>. Luettu 28.11.2017.
- 10 V3 Microsquirt Quickstart Guide. Verkkoaineisto. Microsquirt. <<http://www.useasydocs.com/details/iat.htm>>. Luettu 28.11.2017.
- 11 Toyota AE101/AE111 4A-GE Miata ITB Resources. Verkkoaineisto. ClubRoadster.net. <http://www.clubroadster.net/vb_forum/59-irtb-individual-runner-throttle-bodies/39898-toyota-ae101-ae111-4a-ge-miata-itb-resources.html#post734180>. Luettu 28.11.2017.
- 12 Hall Effect Crankshaft Position Sensor. Verkkoaineisto. AMPEFI. <<https://www.ampefi.com/product/hall-effect-crankshaft-position-sensor/>>. Luettu 28.11.2017.
- 13 Innovate MTX-L Digital Wideband O2 Air/Fuel Gauge Kit. Verkkoaineisto. Discovery Parts. <<https://www.discoveryparts.com/auto-racing-gauges-/2467-mtx-l-digital-wideband-o2-airfuel-gauge-kit-innovate-motorsports-3844.html>>. Luettu 1.12.2017.
- 14 Delphi Ignition Coil 12V. Verkkoaineisto. Onlinecarparts. <<https://www.onlinecarparts.co.uk/delphi-7478411.html>>. Luettu 1.12.2017.

- 15 Custom Fiveo 026MX Injector. Verkkoaineisto. Fiveomotorsport. <<https://www.fiveomotorsport.com/flow-matched-ev14-550cc-fuel-injectors-import-fit>>. Luettu 2.12.2017.
- 16 2004 Infinity G35 Fuel Injection Throttle Body. Verkkoaineisto. Go-parts. <<https://www.go-parts.com/ps-product.php?product=3644485&name=2004%20Infiniti%20G35%20Fuel%20Injection%20Throttle%20Body%20Hitachi&year=2004&make=Infiniti&model=G35&parttype=Fuel%20Injection%20Throttle%20Body&sku=112FEA9>>. Luettu 2.12.2017.
- 17 Car AC Compressor Clutch. Verkkoaineisto. Rick's Free Auto Repair Advice. <<http://ricksfreeautorepairadvice.com/car-ac-compressor-clutch/>>. Luettu 2.12.2017.
- 18 IQ3 Dash. Verkkoaineisto. Haltech. <www.haltech.com/iq3-dash />. Luettu 3.12.2017.
- 19 Engine Management Systems Software. Verkkoaineisto. Haltech. <www.haltech.com/product/software/>. Luettu 20.2.2018.
- 20 Ideal Stoichiometry of a gas engine. Verkkoaineisto. Wikimedia Commons. <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ideal-stoichiometry.jpg>>. Luettu 3.2.2018.

Haltechin kytkentäkaavio

